

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-145003

(43)Date of publication of application : 29.05.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/18  
H01L 21/203  
H01L 33/00  
// H01L 21/205

(21)Application number : 08-304414

(71)Applicant : HITACHI LTD  
GIJUTSU KENKYU KUMIAI SHINJOHO SHIYORI  
KAHATSU KIKO

(22)Date of filing : 15.11.1996

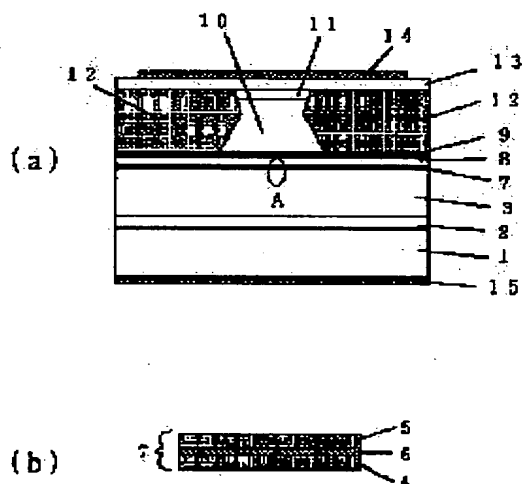
(72)Inventor : KONDO MASAHIKO  
KITATANI TAKESHI  
NAKATSUKA SHINICHI

## (54) SEMICONDUCTOR LASER AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM USING THE SAME

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor laser having high performance by reducing a strain of an active quantum well layer under the condition of sufficiently ensuring an electron and hole confinement energy of a long wave length band semiconductor laser.

SOLUTION: An active layer 7 is made to have a quantum well structure, a nitrogen system V group mixed crystal semiconductor such as GaInNAs is used for a well layer 6, and a semiconductor of stretching strain for barrier layers (light guide layers) 4 and 5. GaNAs or GaNPAs is preferable for the semiconductor having stretching strain. Electron and positive hole confinement energy can be sufficiently ensured by using the nitrogen based V group mixed crystal semiconductor for both the well layer 6 and the barrier layers 4 and 5. Also each layer's strain of the quantum well active layer and the total strain can be simultaneously reduced by stress compensation by the well layer 6 and the barrier layers 4 and 5. By this means a semiconductor laser having a high performance can be provided.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 07.11.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 17.01.2003

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection][Date of requesting appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-145003

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月29日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 21/203

H 0 1 L 21/203

M

33/00

33/00

// H 0 1 L 21/205

21/205

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号

特願平8-304414

(22) 出願日

平成8年(1996)11月15日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71) 出願人 593162453

技術研究組合新情報処理開発機構

東京都千代田区東神田2-5-12 龍角散ビル8階

(72) 発明者 近藤 正彦

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 磯村 雅俊

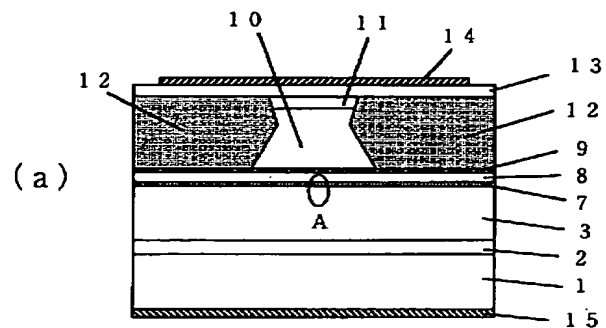
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザおよび該半導体レーザを用いた光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 長波長帯半導体レーザにおいて、電子と正孔の閉じ込めエネルギーを十分に確保したまま、量子井戸活性層の歪を軽減することにより、高性能な半導体レーザを提供すること。

【解決手段】 活性層7を量子井戸構造とし、井戸層6にGaInNAs等の窒素系5族混晶半導体を用い、障壁層(光ガイド層)4, 5に伸張歪の半導体を用いる。伸張歪の半導体は、GaNA sまたはGaNPAsであることが好ましい。井戸層と障壁層との両方に窒素系5族混晶半導体を用いることで、電子と正孔の閉じ込めエネルギーを共に十分に確保できる。また、井戸層と障壁層とで応力補償することにより、量子井戸活性層の各層の歪と全体の歪を共に低減できる。これにより、高性能な半導体レーザを提供することが可能になる。1はGaAs基板、3, 8, 10はクラッド層、14, 15は電極。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaAs基板結晶上に光を発生する活性層と、光を閉じ込めるクラッド層（またはスペーサ層）と、発生した光からレーザ光を得るための共振器構造を有する半導体レーザにおいて、

上記活性層が井戸層と障壁層とで構成される量子井戸構造であり、

井戸層と障壁層の歪の種類が異なる応力補償型壁であり、

井戸層に窒素系5族混晶半導体を用いることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項2】 請求項1に記載の半導体レーザにおいて、

上記井戸層の歪の種類が圧縮歪であり、

上記障壁層の歪の種類が伸張歪であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項3】 請求項1または2に記載の半導体レーザにおいて、

上記障壁層がGaNAsまたはGaNPAAsであることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項4】 請求項1または2に記載の半導体レーザにおいて、

上記井戸層がGaNNAAsであることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項5】 請求項1ないし4のいずれか1項に記載の半導体レーザにおいて、

電子の閉じ込めエネルギーが150meV以上あり、なおかつ、正孔の閉じ込めエネルギーが50meV以上あることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項6】 半導体基板上に、光を発生する活性層と、光を閉じ込めるクラッド層（またはスペーサ層）と、発生した光からレーザ光を得るための共振器構造を有する半導体レーザにおいて、活性層が障壁層と井戸層から形成される量子井戸型構造から構成され、井戸層に窒素を含むIII-V族混晶半導体による第一の半導体層と窒素を含むIII-V族混晶半導体による第二の半導体層を各々1原子層づつ交互に繰り返し積層した超格子構造が用いられていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項7】 請求項6に記載の半導体レーザにおいて、上記超格子構造を形成する半導体材料が、GaNAs、InNAs、AlNAs、GaN<sub>x</sub>P<sub>1-x</sub>、InN<sub>x</sub>P<sub>1-x</sub>、AlN<sub>x</sub>Sb<sub>1-x</sub>、InN<sub>x</sub>Sb<sub>1-x</sub>、AlN<sub>x</sub>Sb<sub>1-x</sub>の中から選ばれることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項8】 請求項6または7に記載の半導体レーザにおいて、発振波長が1.55μm帯であり、かつ、上記半導体レーザの井戸層に用いられる窒素を含むIII-V族混晶半導体の窒素の組成比が、全V族元素に対して1%以下であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項9】 請求項1ないし8のいずれか1項に記載の半導体レーザにおいて、

上記半導体レーザが端面発光型であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項10】 請求項1ないし8のいずれか1項に記載の半導体レーザにおいて、

上記半導体レーザが面発光型であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項11】 請求項1ないし10のいずれか1項に記載の半導体レーザを用いた光通信システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザ技術に関し、特に、長波長帯半導体レーザの設計の許容度を高めた高性能な半導体レーザおよびそれを用いた光通信システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】現在実用化されている光通信システム用半導体レーザは、全てInP基板上に作製され、活性層にGaInPAsまたはAlGaInAs混晶半導体を用いている。量子井戸構造および屈折率導波型構造の採用により非常に高性能になっている。しかし、高温動作時に特性が大きく劣化する大きな欠点を持っている。幹線系光ファイバ通信では半導体レーザをペルチェ電熱素子で冷却しながら使用しているが、光ファイバ通信が各家庭・オフィスへ、各コンピュータへと導入される今後の加入者系光ファイバ通信では半導体レーザ送信モジュールの低価格化と低消費電力化が必須であり、冷却素子を必要としない温度特性に非常に優れる光通信システム用半導体レーザが強く求められている。

【0003】最近、光通信システム用半導体レーザの温度特性の大幅な改善が期待できる新材料GaInNAAsを使用した半導体レーザが報告された（近藤等、第43回応用物理学関係連合講演会予稿集 第1,046頁参照）。また、Nを含むIII-V族混晶半導体は、III族元素の組成を一定としてN組成を変化させたとき、その禁制帯幅がいったん減少してから再び増加するボーイングを示すことが明らかになってきた。Jpn. J. Appl. Phys., vol. 35 (1996) pp. 1273には、このような物性を有するガリウムインジウム窒素砒素（GaInNAAs）を半導体レーザの活性層に用いることにより、ガリウム砒素（GaAs）基板上に温度特性に優れた光通信用半導体レーザが実現できると記載されている。ここでGaAs基板上に作成可能であることは、半導体多層膜反射鏡形成の容易さから、面発光レーザ作成に有利であることを意味する。なお、ここでいう光通信システムは、長距離通信のみを指すものではなく、光インターコネクション等の短距離伝送も含む。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記報告された半導体レーザは、GaInNAAsを量子井戸層に、GaAsを

障壁層（光ガイド層）に用いた量子井戸活性層を有している。GaInNAsとGaAsのバンドラインナップについて図2を用いて説明する。図2の右半分にGaInAsのバンドラインナップを、左半分にGaNAAsのバンドラインナップを示す。GaInAsとGaNAAsのバンドラインナップを同じ図中に示すため、横軸を格子の歪量で目盛った。従って、GaAsがy軸上にくる。同図より、GaAsへInを加えてGaInAs混晶半導体とすると、つまり+歪（圧縮歪）を増大させると、伝導帯は下降し価電子帯は上昇することがわかる。一方、GaAsへNを加えてGaNAAs混晶半導体とすると、つまり-歪（伸張歪）を増大させると、伝導帯、価電子帯の両方とも下降することがわかる。GaNAAsの場合、伝導帯が下降する割合が価電子帯が下降する割合より大きいので、Nを加えて伸張歪を増大させるとバンドギャップは減少する。

【0005】今、GaInAsにNを加えてGaInNAs混晶半導体とする場合を考える。図2において伝導帯はA点からB点、C点へと下降する。同様に、価電子帯はD点からE点、F点へと下降する。歪量に対する価電子帯の上昇/下降の割合がGaInAsとGaNAAsで同一なため、GaAsと格子整合するGaInNAsの価電子帯、つまりF点は、GaAsの価電子帯のレベルと一致する。従って、量子井戸層にGaAsに格子整合したGaInNAsを障壁層にGaAsを使用する量子井戸構造では、電子は閉じ込めることができても、正孔を閉じ込めることができない。

【0006】この問題に対して、上記報告ではGaInNAsの価電子帯を図2のE点へ移動させることによって対処している。つまり、GaInNAsを圧縮歪層とすることで価電子帯を持ち上げ、GaAsの価電子帯とエネルギー差を作っている。レーザ発振に必要な正孔の閉じ込めエネルギー（50meV以上）を得るためには、GaInNAsを+1.5%以上歪まさせなければならない。高歪下のGaInNAs量子井戸層で結晶欠陥の発生を抑制するためにはGaInNAs量子井戸層の層厚や層数が大きく制限され、レーザを設計するうえで障害となっている。そこで、本発明の第1の目的は、電子と正孔の閉じ込めエネルギーを十分に確保し、なおかつ、量子井戸層の歪を軽減させる構造を提供することにより、長波長帯半導体レーザの設計の許容度を高めた高性能な半導体レーザ、および該半導体レーザを用いた光通信システムを提供することである。

【0007】さらに前述した報告では、GaInNAsを活性層に用いた光通信半導体レーザにおいて室温でのレーザ発振が報告されている。そこでの活性領域は光ガイド層をGaAs、井戸層をGaInNAsとする単一量子井戸構造を有している。発光領域である井戸層には、厚さ7nmのGaInNAs単膜が用いられている。本報告におけるGaInNAsのN組成は1%以下

である。このような活性層構造で、発振波長が1.3μm帯あるいは1.55μm帯に適合した高性能なレーザを作製するには、N組成が1~4%程度必要である。

【0008】Nは、その原子半径が従来から用いられてきたIII-V族半導体材料よりも非常に小さいため、GaInNAsを構成する他の元素とうまく混合させることが難しい。よって、従来構造と同様に井戸層をGaInNAs単膜とした場合、N組成の増大につれ、結晶性の低下が起き、レーザの性能が劣化する可能性がある。実際に、GaInNAsを井戸層に用いた量子井戸において、窒素組成の増大に伴うフォトルミネッセンス特性の劣下が観測されている。特に、3%以上のN組成が要求される1.55μm帯半導体レーザにおいては、この問題が顕著となる。そこで、本発明の第2の目的は、GaInNAsを活性層に用いた温度特性に優れた光通信用長波長半導体レーザにおいて、N組成を1%以下としても、1.55μmを超える長波長で発振する活性層構造を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の上記第1の目的は、長波長帯半導体レーザの活性層を量子井戸構造とし、井戸層に圧縮歪みの半導体を用い、障壁層（光ガイド層）に伸張歪の半導体を用い、これらをGaAs基板上に設けることにより達成される。上記圧縮歪みの半導体として窒素系5族混晶半導体を用い、上記伸張歪の半導体としてGaNAAsまたはGaNPAsを用いることが好ましい。

【0010】図3を用いて、井戸層がGaInNAs、障壁層がGaNAAsの場合について説明する。GaNAAsの伝導帯はS点、価電子帯はT点となる。今50meVの正孔の閉じ込めエネルギーを得ることを考える。障壁層がGaAsの場合はGaInNAsの価電子帯はE点でなければならないが、障壁層がGaNAAsの場合はY点でよい。よって、GaInNAsの歪を低減できる。また、その場合、GaNAAs障壁層の伸張歪でGaInNAs井戸層の圧縮歪を相殺（補償）でき、量子井戸構造全体の歪を大幅に低減できる。電子は、S点とX点のエネルギー差によって閉じ込められる。GaInNAsレーザの良好な温度特性を維持するためには、その差を150meV以上保つことが重要である。例えば、電子の閉じ込めエネルギーを150meV以上とし、正孔の閉じ込めエネルギーを50meV以上とする。

【0011】障壁層にGaNPAsを用いる場合は、Pの混晶組成を調節することで、電子と正孔の閉じ込めエネルギーを大きく保ったまま、GaInNAs井戸層の歪量をより低減することができる。井戸層は、GaInNAsに、Al, P, またはSbを多少含ませたものでもよい。5族元素に窒素と他の5族原子を同時に含む窒素系5族混晶半導体であれば、上述した本発明の目的が達成される。

【0012】また、本発明の上記第2の目的は、半導体基板上に光を発生する活性層と、光を閉じこめるクラッド層と、発生した光からレーザ光を得るための共振器構造を有する半導体レーザにおいて、活性層が障壁層と井戸層から形成される量子井戸型構造から構成され、井戸層に窒素を含むIII-V族混晶半導体による第一の半導体層と窒素を含むIII-V族混晶半導体による第二の半導体層を各々1原子層づつ交互に積層した超格子構造を用いることによって達成される。

【0013】さらに詳しく述べると、図5に示すように、活性層を量子井戸型構造とする半導体レーザの井戸層に、ガリウム窒素砒素：GaN(0.0085)As(0.9915)1/インジウム窒素砒素：InN(0.0085)As(0.9915)1超格子を用いる。このとき、各層におけるNの組成比を0.0085とすることにより、素子の発振波長を1.55 $\mu$ mに適合させることができる。つまり、1%以下の低いN組成においても、波長1.55 $\mu$ mで発光する活性層を形成することができる。

【0014】また、Appl. Phys. Lett. vol. 59 (1991) pp. 2688に、(GaAs)1/(インジウム砒素：InAs)1超格子を井戸層に用いたGaAsを障壁層とする歪量子井戸において、室温で波長1.3 $\mu$ mを超える1.34 $\mu$ mでのフォトルミネッセンスが観測されたと記載されている。上記報告に記載されているように、(GaAs)1/(InAs)1超格子が、同様にGaAs基板上に形成した無秩序状態のGa(0.5)In(0.5)As単膜よりも長波長の発光を示す理由は、人工的に導入された周期構造により無秩序状態のGa(0.5)In(0.5)Asのバンド構造に変化が起こり、実質的な禁制帯幅の減少(バンドギャップナローイング)が起こることにより説明される。

【0015】このような周期構造によるバンドギャップナローイングはガリウムインジウム燐Ga(0.5)In(0.5)Pにおける自然超格子形成の際にも観測されている。また、超格子構造を、無秩序状態のGa(0.5)In(0.5)Asの臨界膜厚より厚く積層しても、結晶性が低下しないことがフォトルミネッセンス測定により確認されている。これまで記述してきたと同様の効果が、(GaNA)s1/(InNA)s1超格子を井戸層に用いた場合にも利用できるため、N導入量を1%以下にしたまま、波長1.55 $\mu$ mを超える長波長での発光を実現できる。以上により、本発明構造を用いることで、N組成を1%以下に低下させた状態でも、波長1.55 $\mu$ m帯で発振する温度特性に優れた光通信半導体レーザの作製が可能となる。尚、同様の効果は、GaNA)s、InNA)s以外に、AlNA)s、GaNP、InNP、AlNP、GaNSb、InNSb、AlNSbを用いて超格子構造を作製した場合にも得られる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例を図面を用

いて詳細に説明する。本発明の上記第1の目的を達成するための実施例として、図1に示した第1実施例および図4に示した第2実施例がある。

(第1実施例)第1実施例は、本発明を逆メサ構造を有する端面発光型半導体レーザに適用したものである。以下、図1を用いて本実施例を詳細に説明する。図1(a)は、本実施例の半導体レーザの断面構造を、図1(b)は本実施例の活性層の拡大図を示している。

【0017】次に、図1(a)を参照して素子の作製方法を詳細に説明する。まず、n型GaAs基板1上に、n型GaAsバッファ層2、n型Al(0.4)Ga(0.6)Asクラッド層3、応力補償型歪量子井戸活性層7、p型Al(0.4)Ga(0.6)Asクラッド層8、p型Ga(0.5)In(0.5)Pエッチング停止層9、p型Al(0.4)Ga(0.6)Asクラッド層10、p型GaAsキャップ層11を化学線エピタキシー法により順次形成する。この時の、GaInNA)s歪量子井戸層の歪量は+1%である。

【0018】なお、応力補償型歪量子井戸活性層7は、その拡大図を図1(b)に示すように、GaN(0.02)As(0.98)障壁層(光ガイド層)(層厚150nm)4および5と、Ga(0.80)In(0.20)N(0.02)As(0.98)井戸層(層厚7nm)6とから構成される。

【0019】次に、酸化膜をマスクとしてホトエッチング工程により、図1(a)に示すようなリッジをウエットエッチングにより形成する。エッチングはp型Ga(0.5)In(0.5)Pエッチング停止層9で止まるようにする。このときのリッジ幅は1~15 $\mu$ mとする。次に、エッチングマスクとして用いた酸化膜を選択成長のマスクとして、図1(a)に示すようにn型Al(0.4)Ga(0.6)As電流狭窄層12を選択成長する。その後、成長炉からウエファを取りだし、エッチングにより選択成長マスクとして用いた酸化膜を除去する。その後、p型GaAsコンタクト層13を形成する。

【0020】最後に、p型GaAsコンタクト層13にp側電極14を、n型GaAs基板1にn側電極15を形成した後、劈開法により共振器長約900 $\mu$ mのレーザ素子を得た。この後、このレーザ素子の前面に $\lambda/4$ ( $\lambda$ :発振波長)の厚みのSiO<sub>2</sub>による低反射膜を、素子の後面にSiO<sub>2</sub>とアモルファスSiからなる4層膜による高反射膜を形成した。その後、該レーザ素子を接合面を下にして、ヒートシンク上にボンディングした。

【0021】試作した素子はリッジ幅3 $\mu$ mの素子で、しきい値電流約10mAで室温連続発振し、その発振波長は約1.3 $\mu$ mであった。また、25℃から85℃の範囲における特性温度T<sub>0</sub>は150Kであった。また、本レーザは、活性層の歪量が小さいので、10万時間以上の長い素子寿命を有した。

【0022】(第2実施例)第2実施例は、本発明を面

発光型半導体レーザに適用したものである。以下、本実施例を図4を用いて詳細に説明する。図4(a)は本実施例の断面構造を、図4(b)は本実施例の活性層の拡大図を示している。次に、図4(a)を参照して素子の作製方法を詳細に説明する。まず、 $n$ 型GaAs基板1上に、 $n$ 型半導体多層膜反射鏡20、GaAsスペーサ層21、3重量子井戸活性層24、GaAsスペーサ層25、GaAs基板に格子整合した $p$ 型Ga(0.5)In(0.5)Pクラッド層26、 $p$ 型GaAsコンタクト層27を有機金属気相エピタキシー法により順次形成する。

【0023】なお、3重量子井戸活性層24は、その拡大図を図4(b)に示すように、GaN(0.02)As(0.98)障壁層(層厚5nm)22とGa(0.80)In(0.20)N(0.02)As(0.98)井戸層(層厚5nm)23から構成される。3重量子井戸活性層24は、応力補償型量子井戸構造を有している。

【0024】半導体多層膜反射鏡20は、半導体中で1/4波長厚の高屈折率のGaAs層と半導体中で1/4波長厚の低屈折率のAlInP層を交互に積層したものであり、反射率を99%以上にするために反射鏡層の積層数を15対とした。なお、半導体多層膜反射鏡20は高屈折率層と低屈折率層が交互に積層されていればよいので、例えば、GaAsとAlAs、GaAsとGaInP、或いはGaInNAsとAlAs等の他の材料系を用いてもよい。

【0025】次に、化学気相堆積工程とホットレジスト工程により直径10 $\mu$ mの円形のSiO<sub>2</sub>膜(後の工程で除去するため同図には示していない)を形成し、これをマスクとして $n$ 型の半導体多層膜反射鏡20の途中までウェットエッチングしてメサ状にする。その後、マスクになるSiO<sub>2</sub>膜を残したまま化学気相堆積工程によりSiO<sub>2</sub>保護層28を形成し、その上にポリイミド29を塗布して硬化させる。次に、反応性イオンビームエッチングによりSiO<sub>2</sub>マスクが露出するまでポリイミド29をエッチングし、メサの上部のSiO<sub>2</sub>マスクを図に示したように除去することで平坦な面が得られる。

【0026】この後、リフトオフ法によりリング状の $p$ 側電極13を形成した後、スッパタ蒸着法により誘電体多層膜反射鏡30を形成し、さらに $n$ 型GaAs基板面に $n$ 側電極14を形成した。誘電体多層膜反射鏡30は、誘電体中で1/4波長厚さの高屈折率アモルファスSi層と誘電体中で1/4波長厚さの低屈折率SiO<sub>2</sub>層を交互に積層して作製した。反射率を99%以上にするために積層数を4対とした。なお、誘電体多層膜反射鏡30は高屈折率層と低屈折率層が交互に積層されていればよいので、例えば、SiNとSiO<sub>2</sub>、アモルファスSiとSiN、或いはTiO<sub>2</sub>とSiO<sub>2</sub>等の他の材料系を用いてもよい。

【0027】以上のようにして製作した面発光レーザに電流を注入したところ、室温連続発振した。レーザ光は

誘電体多層膜反射鏡30側から出射された。発振波長は1.3 $\mu$ mであった。本実施例の面発光レーザは、活性層の歪量が小さいので、10万時間以上の長い素子寿命を有した。

【0028】本発明の実施態様の一つであるGaNA<sub>s</sub>なる3元系またはGaNPAsなる4元系の化合物半導体から構成される障壁層は、特にGaInNA<sub>s</sub>の4元系の化合物半導体からなる量子井戸層に正孔及び電子を閉じこめる上で効果を奏する。

【0029】次に、本発明の上記第2の目的を達成するための実施例として、図5に示した第3実施例および図6に示した第4実施例がある。

(第3実施例) 第3実施例は、本発明を端面発光型半導体レーザに適用したものである。以下、図5を用いて本実施例を詳細に説明する。図5(a)は、本実施例の半導体レーザの断面構造を、図5(b)は本実施例の活性層の拡大図を示している。本素子構造の作製には精密な膜厚制御や材料の瞬時の切り替えが必要であり、また、窒素(N)の導入には非平衡状態での成長法が適しているという点で分子線エピタキシー(MBE)法や有機金属化学気相成長(MOCVD)法等が適している。ここでは成長方法をガスソースMBE(GS-MBE)法とする。これはV族の供給に気体原料を用いる方法である。本形態例ではV族元素の供給源として、砒素(As)に関してはアルシン(AsH<sub>3</sub>)を熱クラッキングして用い、NについてはN<sub>2</sub>ガスをRFプラズマ励起して使用する。作製する半導体基板は $n$ 型のGaAs基板51を用いる。AsH<sub>3</sub>供給下のAs雰囲気において、基板表面の酸化膜を10分間の熱クリーニングにより除去した後、基板51上にシリコン(Si)をドーブした $n$ 型GaAsバッファ層52を成長する。

【0030】この後、 $n$ 型AlGaAsクラッド層53、ノンドープGaAs障壁層(光ガイド層)54の順に成長する。次に、NプラズマとAsH<sub>3</sub>を供給しながらGaとInのシャッターを交互に開閉して、GaN(0.0085)As(0.9915)1/InN(0.0085)As(0.9915)1超格子層55を各々1原子層づつ15周期成長する。このとき合計の膜厚は約9nmである。その後、Nプラズマの供給を止め、ノンドープGaAs障壁層(光ガイド層)54、 $p$ 型AlGaAsクラッド層56の順に形成する。最後に $p$ 型GaAsキャップ層57を成長する。このようにして作製された膜に酸化膜58を形成し、それをマスクにしてフォトリソエッチング工程により酸化膜を除去した後、 $p$ 型電極59を形成する。続いて、 $n$ 型電極60を形成した後、劈開工程を経て、共振器長400 $\mu$ mのレーザ素子を得た。続いて、素子前面に低反射膜を、後面に高反射膜を形成した。試作した素子はストライプ幅を5 $\mu$ mとし、閾値電流値約50mAで室温連続発振した。発振波長は1.55 $\mu$ mであった。また、25℃から80℃の範囲における特性温度(T<sub>0</sub>)

は140Kであった。

【0031】(第4実施例)次に、本発明の第4実施例を図6を用いて説明する。本実施例は、本発明の構造を面発光型半導体レーザに適用した実施例である。ここでも成長方法はガスソースMBE(GS-MBE)法とした。作製する半導体基板はn型のGaAs基板61を用いる。AsH<sub>3</sub>供給下のAs雰囲気において、基板表面の酸化膜を10分間の熱クリーニングにより除去した後、基板61上にn型AlAs/n型GaAsによる下部多層膜反射鏡62を25周期積層した。その膜厚は、それぞれ半導体中で1/4波長厚になるようにした。その後、ノンドープGaAs障壁層(スペーサ層)63を成長する。次に、井戸層として、NプラズマとAsH<sub>3</sub>を供給しながらGaとInのシャッターを交互に開閉し、Ga<sub>0.0085</sub>As<sub>0.9915</sub>1/n<sub>0.0085</sub>As<sub>0.9915</sub>1超格子層64を各々1原子層づつ15周期成長する。このとき合計の膜厚は約9nmである。その後、Nプラズマの供給を止め、ノンドープGaAs障壁層(スペーサ層)13、p型GaInPクラッド層65の順に形成する。

【0032】最後にp型GaAsコンタクト層66を成長する。このようにして作製された膜に直径10μmの円形の酸化膜を形成し、それをマスクにしてメサエッチを行う。続いて、酸化膜保護層67を形成した後、ポリイミド68を塗布し硬化する。次に、ポリイミドをエッチングし、メサ上部の酸化膜を除去し、平坦化する。リング状のp側電極69を上部に形成した後、SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>による誘電体多層膜反射鏡70を形成する。膜厚は、それぞれ半導体中で1/4波長厚になるようにした。最後にn側電極71を裏面に形成し、素子として完成した。試作した素子は、電流注入により室温連続発振した。発振波長は1.55μmであった。

【0033】第3実施例および第4実施例では、量子井戸型構造から構成される半導体レーザの井戸層に、窒素を含むIII-V族混晶半導体による第一の半導体層(GaNAs)と窒素を含むIII-V族混晶半導体による第二の半導体層(InNAs)を各々1原子層づつ交互に積層した超格子構造を用いることにより、周期構造導入によるバンドギャップナロウイングの効果で、1%以下のN組成でも、波長1.55μm帯で発振する温度特性に優れた光通信用半導体レーザを得ることができる。

【0034】以上、第1実施例~第4実施例の説明から明らかなように、本発明の半導体レーザは活性層の構造に特徴を有するものであって、それ以外の、例えば端面発光型か面発光型か等の構造や、化学線エビタキシー法で作成するか有機金属気相エビタキシー法で作成するか等の作製方法に依存しない。

【0035】

【発明の効果】本発明によれば、井戸層と障壁層との両方に窒素系5族混晶半導体を用いることで、電子と正孔

の閉じ込めエネルギーを共に十分に確保できる。また、井戸層と障壁層とで応力補償することにより、量子井戸活性層の各層の歪と全体の歪を共に低減できる。本発明は半導体レーザの構造および作製方法に依存しないので、長波長帯半導体レーザの設計の許容度を非常に高めることができ、より高性能な半導体レーザを提供することが可能となる。

【0036】また、本発明によれば、量子井戸型構造から構成される半導体レーザの井戸層に、窒素を含むIII-V族混晶半導体による第一の半導体層と窒素を含むIII-V族混晶半導体による第二の半導体層を各々1原子層づつ交互に積層した超格子構造を用いることにより、周期構造導入によるバンドギャップナロウイングの効果で、1%以下のN組成でも、波長1.55μm帯で発振する温度特性に優れた光通信用半導体レーザを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の半導体レーザの素子構造を示した図である。

【図2】GaInNAs/GaAsのバンドラインナップを説明する図である。

【図3】GaInNAs/GaNAsのバンドラインナップを説明する図である。

【図4】本発明の第2実施例の半導体レーザの素子構造を示した図である。

【図5】本発明の第3実施例の半導体レーザの素子構造を示した図である。

【図6】本発明の第4実施例の半導体レーザの素子構造を示した図である。

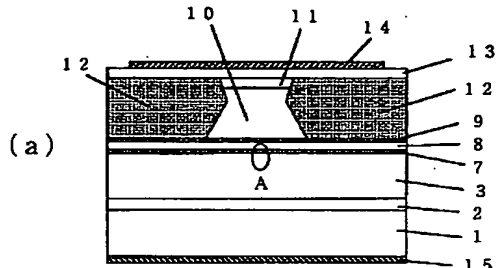
【符号の説明】

1: n型GaAs基板、2: n型GaAsパuffers層、3: n型AlGaAsクラッド層、4, 5: GaNAs光ガイド層、6: GaInNAs井戸層、7: 応力補償型歪量子井戸活性層、8: p型AlGaAsクラッド層、9: p型GaInPエッチング停止層、10: p型AlGaAsクラッド層、11: p型GaAsキャップ層、12: n型AlGaAs電流狭窄層、13: p型GaAsコンタクト層、14: p側電極、15: n側電極、20: n型半導体多層膜反射鏡、21: GaAsスペーサ層、22: GaNAs障壁層、23: GaInNAs井戸層、24: 3重量子井戸活性層、25: GaAsスペーサ層、26: p型GaInPクラッド層、27: p型GaAsコンタクト層、28: SiO<sub>2</sub>保護層、29: ポリイミド、30: 誘電体多層膜反射鏡、51: n型GaAs基板、52: n型GaAsパuffers層、53: n型AlGaAsクラッド層、54: ノンドープGaAs障壁層、55: 超格子層、56: p型AlGaAsクラッド層、57: p型GaAsキャップ層、58: 酸化膜絶縁層、59: p型電極、60: n型電極、61: n型GaAs基板、62: 下部多層膜反射

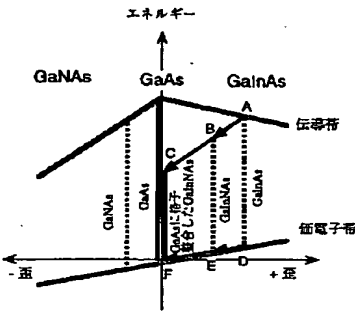
鏡、63：ノンドープGaAs障壁層、64：超格子層、65：p型GaInPクラッド層、66：p型GaAsコンタクト層、67：酸化膜保護層、68：ポリイ

ミド、69：p側電極、70：誘電体多層膜反射鏡、71：n側電極

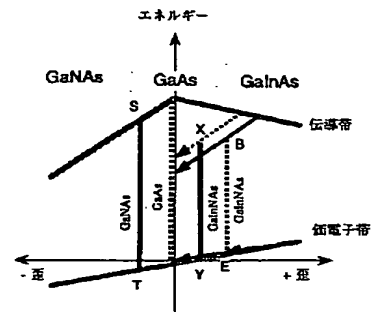
【図1】



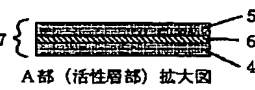
【図2】



【図3】

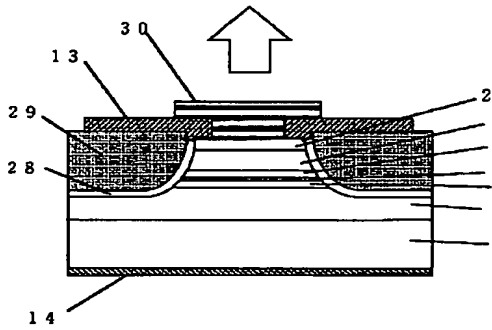


(b)



【図4】

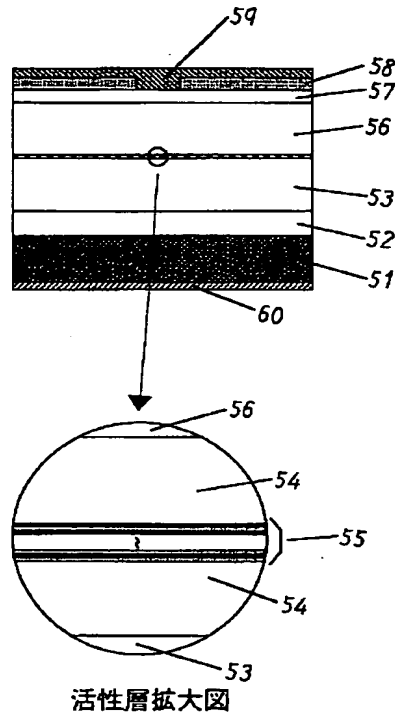
(a)



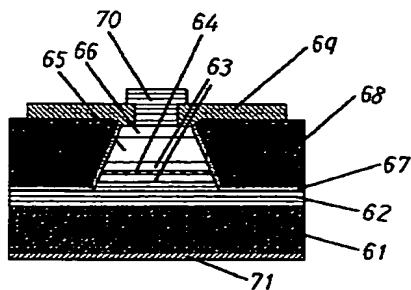
(b)



【図5】



【図6】





フロントページの続き

(72)発明者 北谷 健  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 中塚 慎一  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内